

ШАЛАЕВА Мария Сергеевна

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМОДЕФОРМАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА
СОСТОЯНИЕ КАНАЛА КАПИЛЛЯРНЫХ МЕДНЫХ ТРУБ**

Специальность 05. 16. 05 – Обработка металлов давлением

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2013

Работа выполнена в ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина» на кафедре «Обработка металлов давлением»

Научный руководитель:

Доктор технических наук, профессор Логинов Юрий Николаевич

Официальные оппоненты:

Смирнов Сергей Витальевич, доктор технических наук, ст. науч. сотр.,
ФГБУН Институт машиноведения Уральского отделения Российской академии наук, заместитель директора

Смирнов Николай Аркадьевич, кандидат технических наук, ОАО «Уралгипро-
мез», заместитель начальника трубопрокатного отдела

Ведущая организация:

ОАО «Первоуральский новотрубный завод»

Защита состоится «18» октября 2013 г. в 15 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.285.04 на базе ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» по адресу: 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19, 3-й учебный корпус, ауд. Мт-329.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина».

Автореферат разослан «__»_____2013 г.

Ученый секретарь диссертационного совета



Мальцева Людмила
Алексеевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Благодаря высокой теплопроводности медные трубы используют для переноса тепла в устройствах теплопередачи. Основной областью применения медных капиллярных труб является холодильная техника. Стабильность работы рефрижераторных устройств определяется пропускной способностью капиллярных труб. Состояние шероховатости полости трубы и загрязнение внутренней поверхности посторонними частицами являются основными факторами, влияющими на обеспечение необходимой пропускной способности.

Получение труб с низким уровнем загрязненности внутреннего канала является одной из проблем, с которой нередко сталкиваются производители продукции для холодильной техники. Фактические значения загрязненности зачастую превышают в 2-4 раза требования нормативной документации. Удаление шлама из канала труб снижает производительность работы и требует дополнительных затрат.

Вторым по значимости параметром качества медных капиллярных труб является пропускная способность. Для существующего уровня производства характерны постоянные колебания этой величины. Несмотря на усилия многих поколений исследователей, причины колебания пропускной способности остались слабо изученными, они не классифицированы, что не позволяет принимать адекватные меры по стабилизации этого параметра качества.

Эти обстоятельства приводят к выводу об актуальности работы, направленной на изучение зависимости между технологическими параметрами и показателями качества капиллярных труб.

Работа выполнена в рамках исследований, включенных в следующие научные программы и контракты:

– Федеральная целевая программа «Научные и педагогические кадры инновационной России» Министерства образования РФ, государственный контракт от 22 марта 2010 г. № 02.740.11.0537;

– НИР № 51264/Н.977.210.059/12 от 08 июня 2012 г. «Исследование режимов производства изделий и условий функционирования инструмента для их обработки с целью изыскания путей совершенствования технологии» по этапу 3 «Исследование и совершенствование технологии изготовления медных капиллярных труб»;

– программа поддержки молодых ученых УрФУ в рамках реализации программы развития УрФУ на 2010 – 2020 годы (по договору № 1.2.1.5./43 от 01.07.2012 г).

Цель и задачи исследований

Целью данного исследования является изучение влияния технологических параметров, в том числе производственных, на состояние канала капиллярных труб.

Для достижения поставленной цели предусматривалось решение следующих задач:

1. Проанализировать производственные данные о параметрах качества капиллярных труб с целью установления их взаимосвязи.
2. Выявить параметры, влияющие на загрязненность канала труб и его пропускную способность.
3. Определить термдеформационное состояние в процессе волочения труб методом конечных элементов.
4. По результатам проведенной работы выработать предложения по совершенствованию технологии производства, направленные на улучшение качества продукции.

Научная новизна полученных результатов

В работе получены и выносятся на защиту следующие результаты, отличающиеся научной новизной:

- определение напряженно-деформированного состояния и формоизменения при волочении особотолстостенных труб с учетом влияния термообработки и противонатяжения;
- закономерности изменения качества поверхности в различных видах обработки металлов давлением;
- формирование и обоснование гипотезы деструкции внутренней поверхности капиллярных труб при волочении;
- изучение структуры медных капиллярных труб с позиции проявления водородной болезни.

Теоретическая значимость работы заключается в результатах математического моделирования волочения особотолстостенных труб, которые расширяют знания об этом процессе деформации: расчет напряженно-деформируемого состояния и тепловых полей, определение формоизменения труб. Предложены и обоснованы гипотезы о причинах образования медной пыли внутри канала капиллярных труб.

Практическая значимость работы состоит в рекомендациях для применения на предприятиях, обрабатывающих трубы из меди и медных сплавов, в том числе ОАО «Ревдинский завод по обработке цветных металлов», ОАО «Кировский завод по обработке цветных металлов», «ЗАО «Кольчугцветмет». Ожидается также повышение качества продукции у потребителей капиллярных труб, находящихся как на территории Российской Федерации, так и за ее пределами: ЗАО «Индезит Интернэшнл», КЗХ «Бирюса», ЗАО «Атлант» и других крупных производителей холодильной техники. Предлагаемые рациональные технические решения изложены в главе 4.

Методология и методы исследования

Работа выполнена с использованием основных законов механики деформации сплошных сред, с применением универсальных методик и методов исследований: экспериментальные исследования, методы статистического анализа, ком-

пьютерное моделирование методом конечных элементов в системах DEFORM и ABAQUS.

Положения, выносимые на защиту:

- Установление связей между пропускной способностью капиллярных медных труб и факторами, сопровождающими их производство: маркой металла, геометрическими параметрами, режимами деформации и термической обработки.
- Доказательство наличия взаимосвязи между параметрами шероховатости канала капиллярных медных труб и параметрами холодной деформации.
- Обнаружение физического феномена, сопровождающего процесс термомеханической обработки медных капиллярных труб в виде водородной болезни, проявляющейся на микроуровне и приводящей к появлению каналов, заполненных водой, оказывающих влияние на деформацию поверхностного слоя и приводящих к его деструкции.

Степень достоверности полученных научных результатов и выводов диссертации обоснована использованием статистических методов обработки опытных данных, применением основных положений механики деформируемого тела, методов исследования операций, современных математических моделей оправочного волочения и средств компьютерного моделирования. Достоверность подтверждается сходимостью расчетных данных с результатами промышленных и лабораторных экспериментов.

Апробация работы

Основные положения диссертационной работы изложены и обсуждены на 18 международной конференции молодых ученых по приоритетным направлениям развития науки и техники (г. Екатеринбург, 2010), региональной н/т конференции «Образование и производство - 2010», (Верхняя Салда, 2010), региональной научно-практической конференции «Молодежь и наука» (Нижний Тагил, 2011), 5 международном научно-практическом семинаре «Уральская школа по обработке металлов давлением им. А.Ф.Головина. Модернизация и инновации в металлургии и машиностроении» (Екатеринбург, 2011), 12 международной н/т

уральской школе-семинаре металловедов – молодых ученых (Екатеринбург, 2011), I Всероссийской научно-практической конференции ТИМ'2012 (Екатеринбург, 2012), 1 международной конференции «Инновации в материаловедении и металлургии» (Екатеринбург, 2012), 6 международной молодежной научно-практической конференции «Инновационные технологии в металлургии и машиностроении» (Уральская научно-педагогическая школа имени профессора А.Ф.Головина, Екатеринбург, 2012), XIV международной научной конференции «New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering» (Польша, Ченстохова, 2013), международной научно-практической конференции «Создание высокоэффективных производств на предприятиях горно-металлургического комплекса (Верхняя Пышма, 2013).

Публикации

Результаты диссертационной работы отражены в 15 печатных трудах и тезисах докладов, три из них - из перечня изданий, рекомендуемых ВАК.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из 4 глав, трех приложений, списка условных обозначений и списка литературных источников в составе 77 наименований, содержит 176 страниц машинописного текста, включая 72 рисунка и 12 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность решения существующей научно-технической проблемы получения качественных капиллярных медных труб. Сформулирована цель работы, указана структура диссертации.

Первая глава содержит анализ нормативной документации, регламентирующей качество капиллярных труб (раздел 1.1). Показано, что требования технических условий, предложенных потребителями капиллярных труб, являются более жесткими к величине пропускной способности и загрязненности внутреннего канала по отношению к требованиям ГОСТ.

В разделе 1.2 описаны технологии изготовления медных труб в России и за рубежом, в том числе и капиллярных труб. Особое внимание уделено производству труб на ОАО «Ревдинский завод ОЦМ» (раздел 1.3), на базе которого проводились исследования, изложенные в данной работе. В разделе 1.4 рассмотрен порядок решения краевой задачи в системе расчета DEFORM. Показано, что для изучения самых разнообразных технологических параметров, характеризующих процессы волочения труб, исследователями широко используется метод конечных элементов, отмечено соответствие решений, полученных методом конечных элементов экспериментальным наблюдениям.

В разделе 1.5 выполнен литературный обзор вопросов, касающихся качества внутреннего канала труб при волочении. Показано, что внимание многих исследователей привлекает этот вопрос, в том числе установлено влияние значительного количества параметров на состояние внутренней поверхности: напряженно-деформированное состояние, температурные поля, виды обработки и т.д. Данные исследования проводились для тонкостенных труб и труб с нормальной толщиной стенки. Вопросы влияния параметров обработки на пропускную способность и загрязненность канала капиллярных труб являются мало изученными.

Проведенный литературный обзор исследований рекристаллизации меди позволил установить, что температура начала статической рекристаллизации меди изменяется в широких пределах (от 20 до 370°C) и зависит от следующих параметров:

- степени химической чистоты металла;
- степени и характера монотонности предшествующей деформации;
- размера зерна.

В разделе 1.6 сформулированы основные задачи исследования.

Во второй главе приведен анализ производственных показателей, характеризующих качество канала капиллярных труб.

В качестве варьируемых параметров для осуществления статистического анализа производственных данных по загрязненности внутреннего канала капиллярных труб выбраны:

- состояние металла на момент проведения оценки загрязненности;
- различные типоразмеры труб;
- различные марки меди.

Выявлено, что наибольшая загрязненность наблюдается у труб в твердом состоянии, изготовленных из марок меди пониженной чистоты, а также с меньшим диаметром внутреннего канала и наибольшим соотношением толщины стенки трубы к наружному диаметру.

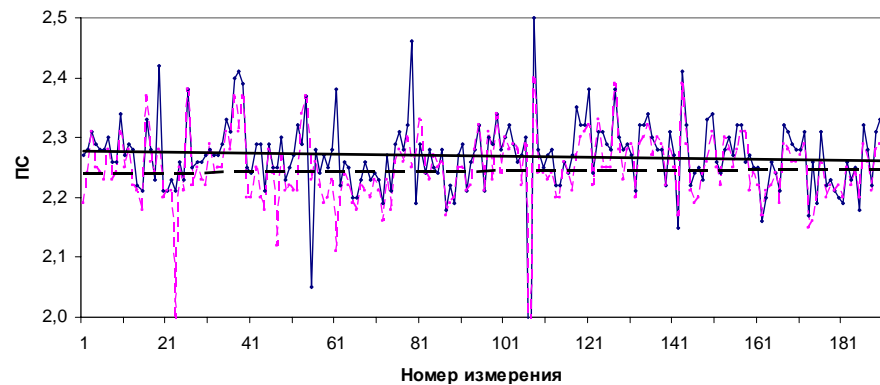
Зафиксирована нестабильность пропускной способности по длине труб, отмечены ее колебания как выше, так и ниже допустимых значений. Установлено влияние термической обработки на пропускную способность труб: после отжига наблюдается снижение пропускной способности. На рисунке 1 представлены результаты измерения пропускной способности в хронологической последовательности: сплошные линии тренда во всех случаях идут выше штриховых, т.е. до отжига пропускная способность оказывается несколько выше, чем после отжига. Предложены гипотезы, объясняющие наблюдаемое явление.

Выявлено присутствие колебаний наружного диаметра труб по длине, что в дальнейшем связали с изменением натяжения, создаваемого устройством размотки. Одновременное измерение наружного диаметра и величины пропускной способности позволило получить корреляционную зависимость между ними.

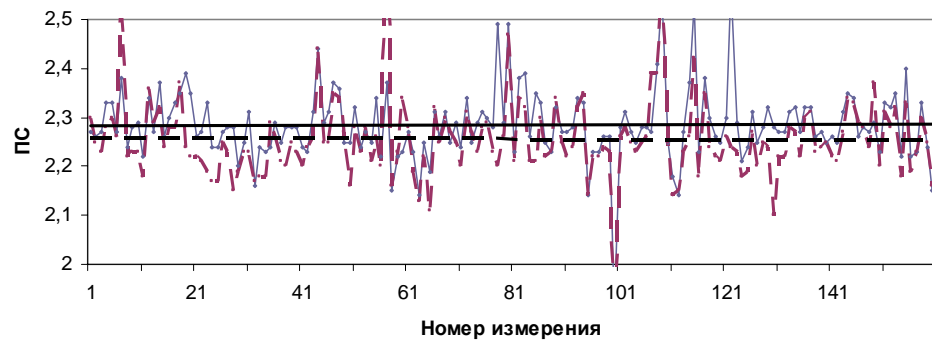
Третья глава посвящена установлению связей между параметрами термодеформационной обработки и состоянием канала капиллярных труб.

Изучено формирование структуры в производстве капиллярных медных труб. Выявлено, что в реальном процессе наблюдаются интенсивные деформации на уровне относительных обжатий до 99,998 % и неравномерное распределение компонентов тензора деформации. Преобладание тангенциальной компоненты тензора деформации приводит к формированию зерен вблизи внутренней поверхности трубы с вытягиванием их вдоль продольной и радиальной осей координат.

Выполненный текстурный анализ подтвердил эти выводы. Следует отметить, что от изменения текстурных составляющих в большой степени зависит модуль упругости меди (разница его величин может составлять до 180 %). Знание его более точных значений позволяет более адекватно рассчитывать размеры деформирующего инструмента малых габаритов, где точность должна быть обеспечена на уровне микрометров.



а



б

Рисунок 1 — Результаты измерений пропускной способности труб 1,85×0,66мм (а) и 1,85×0,71 мм (б) до (сплошная линия) и после (штриховая линия) отжига, прямые линии выполнены как линии тренда

Выполнены расчеты деформированного состояния при волочении толстостенных и тонкостенных медных труб (рисунок 2). Показано, что наибольшие накопленные степени деформации достигаются на внутреннем контуре трубы, неоднородность распределения деформаций по радиусу выше в случае волочения толстостенной трубы, в этом же случае возникает неблагоприятное соотношение радиальной и тангенциальной компонент тензора деформации (рисунок 3), что создает опасность возникновения дефектов.

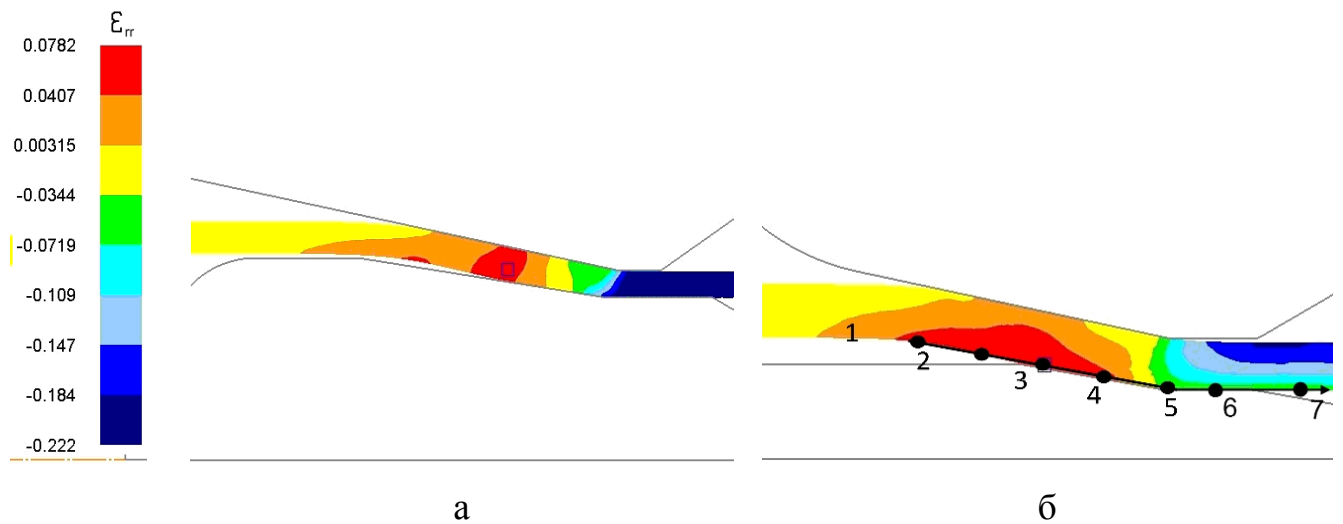


Рисунок 2 – Распределение компоненты тензора деформации ε_{rr} по стенке при волочении тонкостенной (а) и толстостенной (б) заготовки с нумерацией точек для анализа (цифры вдоль стрелки)

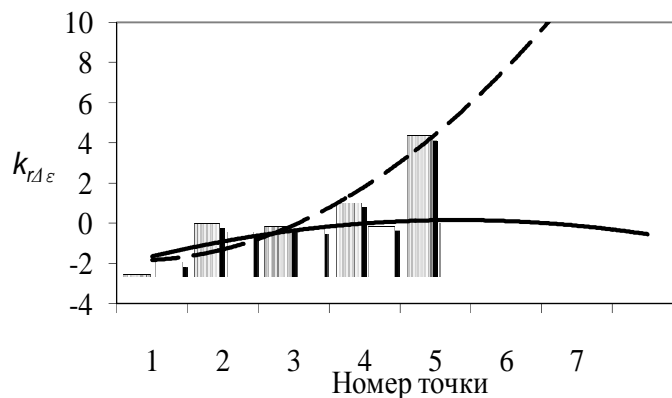


Рисунок 3 – Изменение коэффициента $k_{r\Delta\varepsilon} = \Delta\varepsilon_{rr}/\Delta\varepsilon_{\phi\phi}$ для тонкостенной (штрихованные столбцы, штриховая линия тренда) и толстостенной трубы (светлые столбцы, сплошная линия тренда) в контрольных точках очага деформации при волочении

Выполнены расчеты деформированного состояния при волочении толстостенных (рисунок 4) и тонкостенных (рисунок 5) медных труб с учетом проведения промежуточного отжига между волочильными проходами. Для обоих видов труб установлено, что в случае проведения промежуточного отжига наблюдается меньший градиент и неоднородность распределения компонент тензора деформации.

ции по толщине стенки. Теоретически и экспериментально подтверждено, что наличие промежуточного отжига оказывает влияние на формоизменение толстостенных труб при волочении, что следует учитывать при разработке технологии производства труб.

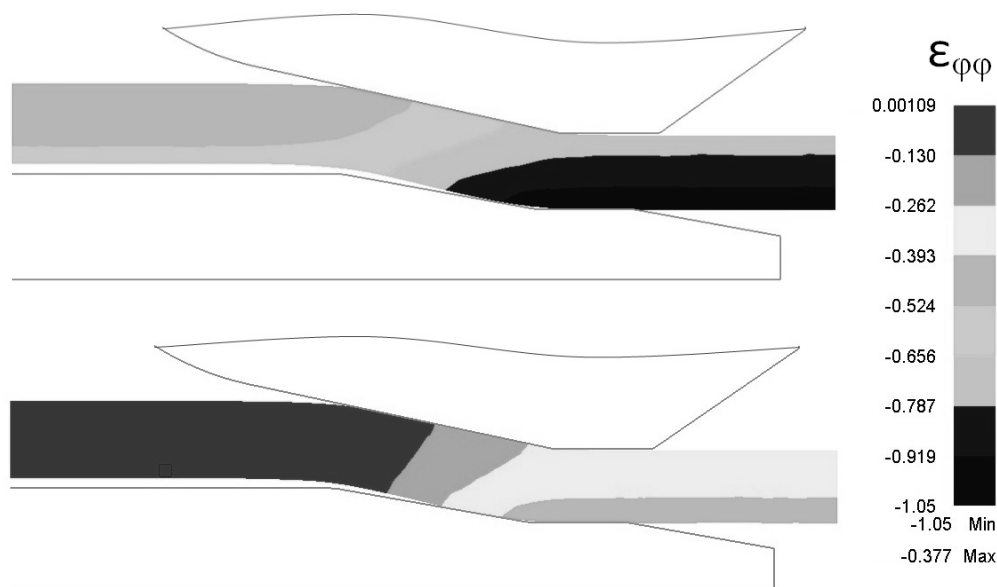


Рисунок 4 – Распределение компоненты тензора деформации $\epsilon_{\phi\phi}$ в очаге деформации при волочении без проведения промежуточного предварительного отжига (вверху) и с проведением его (внизу)

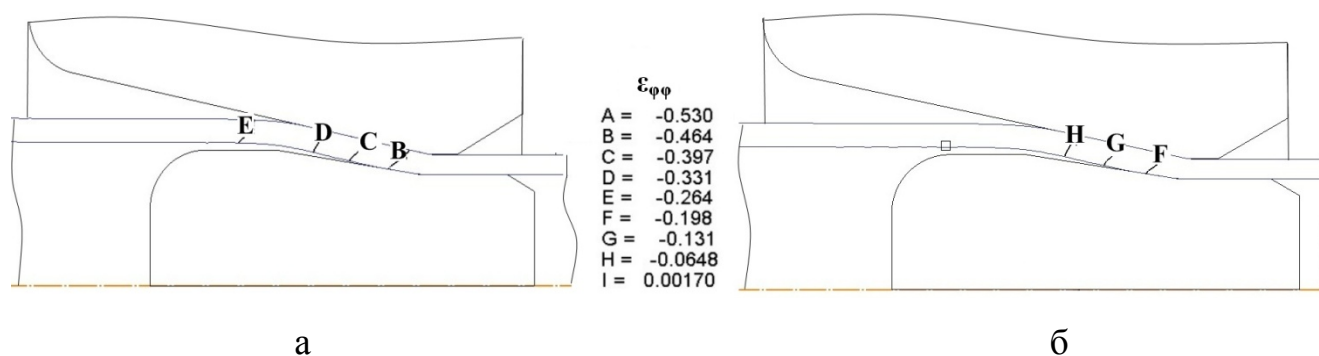


Рисунок 5 – Распределение компоненты тензора деформации $\epsilon_{\phi\phi}$ в очаге деформации при волочении без проведения промежуточного предварительного отжига (а) и с проведением его (б)

В результате экспериментального изучения выявлена тенденция к повышению шероховатости внутренней поверхности медных труб после проведения ва-

куумного отжига. Аналогичное явление может происходить при отжиге готовых капиллярных труб, вследствие чего снижается их пропускная способность.

Рассмотрена эволюция микронеровностей внутренней поверхности медных труб при безоправочном волочении прессзаготовки. Выявлено, что наименьшая шероховатость наблюдается у горячепрессованных труб. Установлено, что при деформации волочением до логарифмической степени деформации 0,417 происходит увеличение среднего параметра шероховатости в 30 раз. Наибольший темп прироста параметра R_a наблюдается в первом проходе волочения, выявили также нарастание дисперсии измеряемой величины по проходам волочения. Наблюдаемое явление объясняется эффектом разворота зерен меди. Аналогично может ухудшаться поверхность при волочении на самоустанавливающейся оправке, где также имеется зона безоправочного волочения, что впоследствии негативно сказывается на пропускной способности и загрязненности капиллярных труб.

В рамках выявления причин загрязненности капиллярных труб изложена гипотеза факторов, приводящих к деструкции внутренней поверхности капиллярных медных труб при волочении на основе допущения феномена «поверхностно-деформационного износа» (surface deformation wear). Для обоснования гипотезы выполнены расчеты уровней деформаций и температур (рисунок 6) при волочении капиллярной трубы.

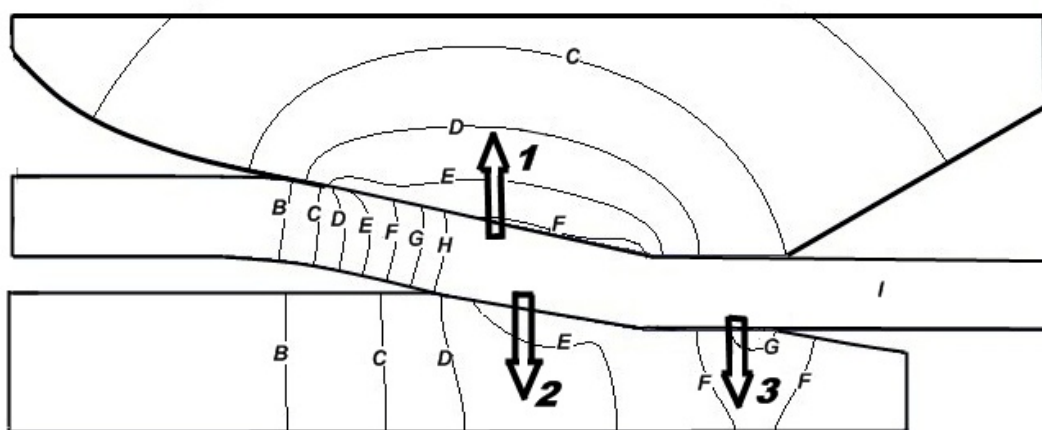


Рисунок 6 - Распределение температуры в заготовке и инструменте при волочении с направлениями теплоотвода: 1 – в сторону волокна; 2 и 3 – в сторону оправки. Обозначение уровней температуры: A – 20 °C, B – 21,4 °C, C – 22,8 °C, D – 24,1 °C, E – 25,5 °C, F – 26,9 °C, G – 28,3 °C, H – 29,6 °C, I - 31 °C

Изучено состояние канала капиллярных труб с позиции проявления водородной болезни. Показана возможность ухудшения состояния поверхности за счет присутствия пор внутри металла (рисунок 7), что впоследствии может ухудшить эксплуатационные характеристики капиллярных труб. Проведено изучение топографии поверхности внутреннего канала медной трубки. На рисунке 8 показано, что на поверхности имеются выступы, некоторые из них имеют отверстия для выхода посторонней среды в виде жидкости или газа. Методом конечных элементов рассчитано формоизменение поры, нагруженной изнутри давлением (рисунок 9).

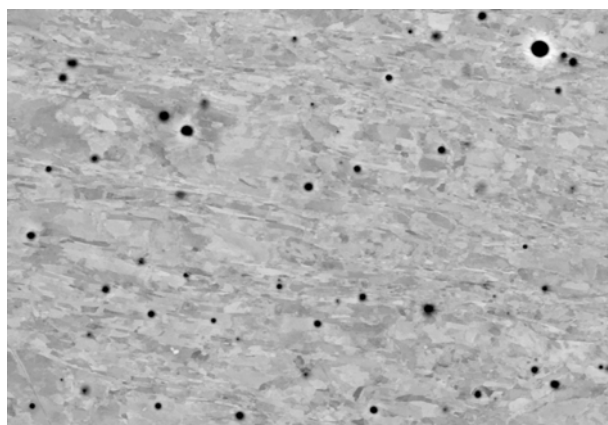


Рисунок 6 – Распределение пористости в поперечном сечении стенки трубы 2,10×0,8 мм в деформированном состоянии при увеличении $\times 2000$

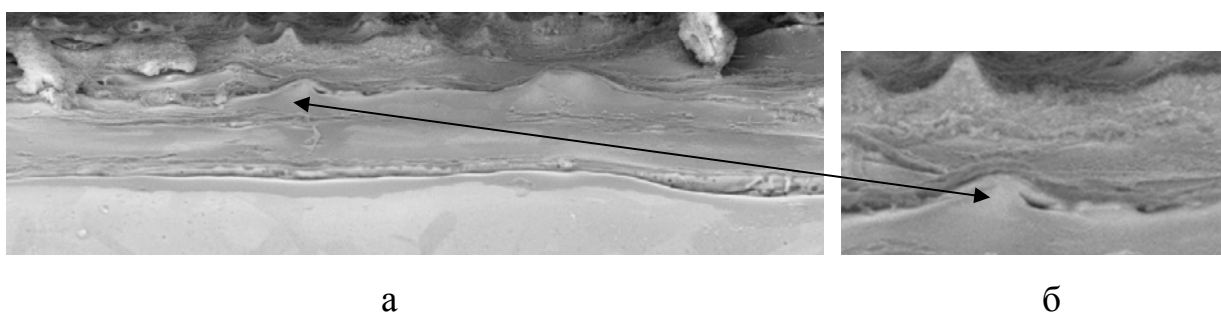


Рисунок 7 – Профиль поверхности трубки: видны кратеры от микровзрывов пор (а); увеличенное изображение одного из кратеров с отверстием для вытекания воды (б)

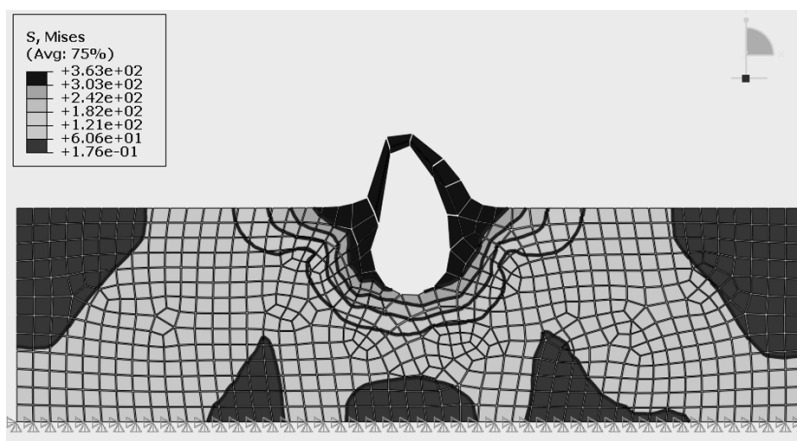


Рисунок 8 – Формоизменение поры, расположенной вблизи поверхности после нагружения ее внутренним давлением 300 МПа и распределение эквивалентных напряжений

Четвертая глава посвящена выявлению рациональных технологических решений, направленных на улучшение качества канала капиллярных медных труб. Представлены рекомендации для плавно-литейного, прессового и волочильного переделов.

С целью уменьшения вредного проявления последствий водородной болезни предложено установить контроль над содержанием водорода в слитках из меди, предназначенных для производства капиллярных труб. С той же целью при прессовании следует заменить углеводородсодержащие смазки на синтетические смазки, не содержащие водорода.

Отмечено, что в плавно-литейном переделе создаются предпосылки для возникновения водородной болезни меди на микроуровне. Одним из путей исключения воды из структуры металла является исключение воздействия на расплав металла водородсодержащих соединений.

Предложено установить контроль за содержанием водорода в слитках из меди, предназначенных для производства капиллярных труб. Судя по имеющимся публикациям, критическое содержание водорода, при котором возможно наступление водородной болезни составляет 2 ppm.

При прессовании используется способ горячей деформации металла. В таких условиях молекулы водорода обладают высокой диффузионной подвижностью, а из-за малости размеров легко растворяются в металлах. При прессовании

используются вспомогательные материалы, которые могут содержать водород. В первую очередь это смазки, применяемые для снижения трения на прессовом инструменте, например, используемый в производстве строительный нефтебитум, являющийся композицией углеводородных материалов. При возгорании смазки после нанесения ее на инструмент в определенных зонах, приближенных к очагу горения, происходит термическое разложение исходных веществ с образованием водорода, оксидов углерода, простейших углеводородов. Поэтому на стадии прессования возможно насыщение поверхностных слоев слитка водородом. В пользу этого тезиса говорит то обстоятельство, что в выполненных анализах структуры трубы выявлено повышенное содержание воды именно в наружных слоях (рисунок 9). Внутренняя поверхность трубы получена за счет прошивки и не имеет такого развитого контакта с инструментом, как имеет наружная поверхность.

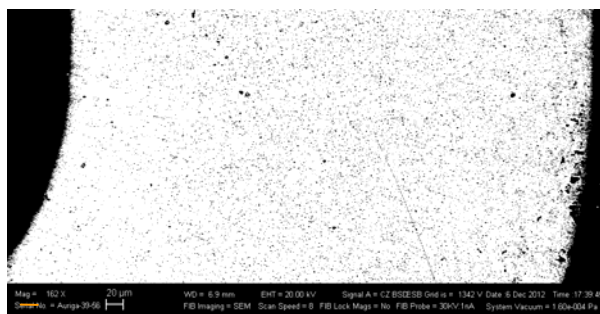


Рисунок 9 – Распределение пористости в поперечном сечении стенки трубы 2,10×0,8 мм в деформированном состоянии при увеличении x100 (полость трубы расположена слева, а наружная поверхность – справа)

В связи с изложенным, предлагается рассмотреть вопрос о замене углеводородсодержащих смазок при прессовании на синтетические смазки, не содержащие водорода.

Наличие налипшего слоя на технологическом инструменте не позволяет получать качественную внутреннюю поверхность трубки. По результатам исследования качества поверхности волочильных оправок установлено, что налипанию деформируемого металла на инструмент способствует наличие дефектов на оправке в виде поперечных рисок, оставшихся от операции серебрения (шлифования) исходной проволоочной заготовки и точечные дефекты.

Зафиксировано наличие сетки трещин в хромовом покрытии стальных оправок и рисками от износа (рисунок 10). Границы трещин удерживают твердые частицы, которые царапают металл канала трубки, вызывая появление продуктов износа (шлама).

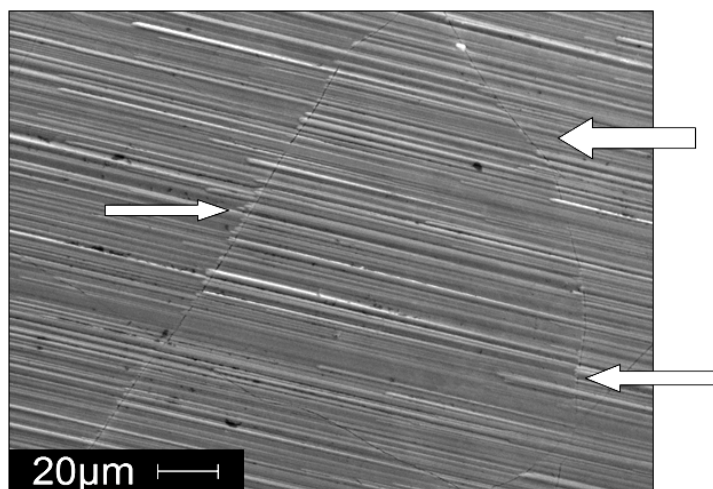


Рисунок 10 – Границы трещин в хромовом покрытии самоустанавливающейся оправки и риски от износа, начинающиеся от этих границ

В этой связи рекомендовано перейти на другой способ изготовления и нанесения покрытия оправок:

Одна из главных проблем, возникающих в производстве капиллярных труб – стабильность их параметров по длине, была переформулирована по отношению к оборудованию: насколько оборудование создает стабильную картину обработки полуфабриката. Рассмотрены источники нестабильных режимов работы стана. С целью изучения влияния противонапряжения на формоизменение труб в процессе волочения реализована постановка задачи волочения с противонапряжением в программном комплексе DEFORM 2D. Установлено, что при приложении противонапряжения наблюдается изменение геометрических параметров протянутой трубы: уменьшается наружный диаметр, в то время как внутренний диаметр увеличивается, что влечет за собой увеличение пропускной способности канала. Зафиксировано качественное совпадение с производственными данными по изменению пропускной способности в зависимости от наружного диаметра. Рекомендовано при волочении капиллярных труб не использовать волочильный стан с неравномерно

вращающейся фигуркой, а установить стан с устройством для размотки заготовки со стабилизированным усилием отдачи.

Для стабилизации тепловых граничных условий станы для волочения капиллярных медных труб должны иметь системы мониторинга силовых и тепловых режимов деформации.

Приведено обоснование установки на волочильном стане систем мониторинга, которые позволяли бы принимать адекватные технологические решения, в том числе в автоматизированном режиме.

В заключении представлены основные выводы и результаты работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведения диссертационной работы достигнута поставленная цель и получены следующие результаты:

1. На основе статистического анализа производственных показателей по параметрам качества капиллярных труб выявлены типоразмеры труб, для которых существует наибольшая опасность отклонений по параметрам качества канала. К ним относятся трубы, изготавливаемые из меди с расширенными полями допуска по химическому составу, трубы, имеющие меньший внутренний диаметр, а также трубы, подвергнутые термической обработке.

2. Установлено, что процесс производства капиллярных труб характеризуется накоплением сверхвысоких деформаций, оцениваемых относительным обжатием на уровне 99,998 %, при этом уровень холодной деформации без отжига оценивается относительным обжатием на уровне 99%, что приводит к сильному влиянию деформационного воздействия на структуру металла.

3. С учетом перехода по маршруту волочения капиллярных труб из состояния тонкостенных труб к состоянию толстостенных труб выполнены расчеты деформированного состояния и выявлено, что при таком переходе изменяется соотношение между тангенциальными и радиальными деформациями, причем ради-

альные деформации начинают превалировать над тангенциальными деформациями вблизи канала трубы. Эти данные подтверждены результатами выполненного текстурного анализа.

4. Показано, что на соотношениях компонентов тензора деформаций при деформации толстостенных труб сказывается наличие промежуточного отжига.

5. Показано, что при пластической деформации величина микронеровностей канала труб в зоне безоправочного волочения нарастает, причем в особенности при переходе от горячепрессованного состояния к деформированному в первом проходе волочения.

6. Выполнены расчеты деформаций и температур при волочении капиллярной трубы, которые показали неравномерность распределения этих факторов и создания условий для возникновения феномена поверхностно-деформационного износа, который объясняет повышение загрязненности канала труб при интенсивных деформациях.

7. Изучено состояние канала капиллярных труб с позиции проявления водородной болезни и показана возможность ухудшения состояния поверхности за счет присутствия и развития пор внутри металла и их формоизменения при деформации.

8. Рассчитано формоизменение и напряженное состояние при волочении капиллярных медных труб с противонатяжением, его результаты показали сильное влияние этого фактора на пропускную способность.

9. Изучена топография поверхности самоустанавливающихся оправок, применяемых при волочении, и сделан вывод о необходимости улучшения этого показателя для повышения качества канала капиллярных труб.

10. По результатам проведенной работы разработаны предложения по совершенствованию технологии производства, направленные на улучшение качест-

ва продукции. Предложения приняты для реализации ОАО «Ревдинский завод по обработке цветных металлов» (имеется акт внедрения).

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах.

В рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК:

1. Логинов, Ю.Н. Соотношения деформаций при волочении толстостенных и тонкостенных медных труб // Ю.Н. Логинов, М.С. Шалаева, А.С. Овчинников // Производство проката. – 2011. – № 7. – С. 31-35.
2. Логинов, Ю.Н. О гипотезе разрушения структуры внутренней поверхности капиллярных медных трубок при волочении / Ю.Н. Логинов, М.С. Шалаева, А.С. Овчинников // Кузнечно-штамповочное производство - Обработка материалов давлением. – 2011. – №12. – С. 3-9.
3. Логинов, Ю.Н. Сравнение структур теплотехнической меди в высоконагартованном и рекристаллизованном состояниях / Ю.Н. Логинов, С.Л. Демаков, А.Г. Илларионов, М.А. Иванова, М.С. Шалаева // Цветные металлы. – 2013. – 2013. – №8. – С. 92-96.

Другие публикации:

4. Логинов, Ю.Н. Деформации при волочении полой медной заготовки с учетом последствий отжига / Ю.Н. Логинов, М.С. Шалаева // Материалы рег. науч.-технич. конф. «Наука – образование – производство: опыт и перспективы развития», 11 февр. 2011 г. – Н. Тагил: ФГАОУ ВПО УРФУ НТИ, 2011. – Т. 1. С. 11-15.
5. Шалаева, М.С. Соотношения компонентов тензора деформации при волочении медной толстостенной трубы с учетом последствий отжига / М.С. Шалаева, Ю.Н. Логинов // Сб. научн. тр XII Междунар. науч.-технич. Уральской школы-семинара металловедов – молодых ученых, 14-18 нояб. 2011 г. – Екатеринбург – УрФУ, 2011. – С. 185-187.
6. Логинов, Ю.Н. Управление состоянием внутренней поверхности капиллярных медных труб при волочении / Ю.Н. Логинов, М.С. Шалаева // Инновации в материаловедении и металлургии: материалы I междунар. интеракт. науч. –

практ. конф. «Инновации в материаловедении и металлургии», 13 дек. 2011 г. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2012. С. 69-72.

7. Логинов, Ю.Н. Теплопередача в системе «волока – заготовка – оправка» при волочении медных капиллярных труб / Ю.Н. Логинов, М.С. Шалаева // Сб. докладов I Всерос. науч.-практич. конф. ТИМ'2012 – 29 – 30 марта 2012 г. – Екатеринбург: УрФУ, 2012. – С. 76-79.

8. Шалаева, М.С. Изучение износа оправок для волочения капиллярных труб / М.С. Шалаева, Ю.Н. Логинов, С.Л. Демаков // Сб. науч. трудов XIII Междунар. науч.-технич. Уральской школы-семинара молодых ученых-металловедов, 12-16 ноябр. 2012 г. – Екатеринбург: УрФУ, 2012. С. 192-194.

9. Логинов, Ю.Н. Чистота каналов капиллярных труб как параметр качества / Ю.Н. Логинов, М.С. Шалаева, А.С. Овчинников // Сб. науч. трудов XVIII Междунар. конф. молодых ученых. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2010. – Ч.2. – С. 68-73.

10. Логинов, Ю.Н. Деформированное состояние при волочении капиллярных труб из меди / Ю.Н. Логинов, М.С. Шалаева // Сб. тез. докл. IV Региональной науч. конф. «Образование и производство-2010». – В. Салда: ФГАОУ ВПО УРФУ, 2010. С. 143-146

11. Шалаева, М.С. Влияние граничных условий на стабильность решения задачи волочения медной трубы на плавающей оправке / М.С. Шалаева, Ю.Н. Логинов // Сб. материалов рег. науч.-практич. конференции «Молодежь и наука», 20 мая 2011 г. – Н. Тагил: ФГАОУ ВПО УРФУ НТИ, 2011. – Т. 1. – С. 139-142.

12. Логинов, Ю.Н. Управление состоянием внутренней поверхности капиллярных медных труб при волочении / Ю.Н. Логинов, М.С. Шалаева // Сб. материалов I междунар. интеракт. науч. – практ. конф. «Инновации в материаловедении и металлургии», 13-19 дек. 2011 г. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2012. С. 69-72.

13. Логинов, Ю.Н. Поверхностно-деформационный износ внутренней поверхности капиллярных медных труб при волочении / Ю.Н. Логинов, М.С. Шалаева, А.С.Овчинников // Сб. VI Междунар. молодежной науч.-практич. конфе-

ренции «Инновационные технологии в металлургии и машиностроении», 29 окт. - 2 ноябр. 2012. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2012. С. 502-508.

14. Логинов, Ю.Н. Изменение шероховатости при пластической деформации кольцевого сектора из теплотехнической меди / Ю.Н. Логинов, М.С. Шалаева // Сб. трудов XIV междунар. науч. конференции «New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering», – 6 -7 июня 2013 г. – Ченстохова: CUT, 2013. С. 387-390.

15. Шалаева, М.С. Исследование влияния отжига на шероховатость поверхности медных труб / М.С. Шалаева, Ю.Н. Логинов // Сб. трудов междунар. науч. - практич. конференции «Создание высокоэффективных производств на предприятиях горно-металлургического комплекса», 3-4 сент. 2013 г. – Екатеринбург: Уральский рабочий, 2013. С. 134-135.